

УДК 621.4.001.57

## **АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ И ЭНЕРГОВОООРУЖЕННОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОМПОНЕНТОВ ТЕНЗОРА ИНЕРЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Потиенко К. И., Седельников А. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

В данной работе была рассмотрена проблема снижения управляемости космического аппарата (КА), вызванная увеличением момента инерции КА при проведении активного контроля уровня микроускорений на стадии эксплуатации КА. Оценены дополнительные запасы топлива, необходимые для выполнения задачи орбитальной ориентации КА. Даны рекомендации по снижению влияния данного явления на эффективную работу системы ориентации и управления движением КА.

Проблема обеспечения и контроля требуемого для успешной реализации гравитационно-чувствительных процессов уровня микроускорений является важной и актуальной. Современный уровень развития космической техники существенно отстаёт от потребностей космического материаловедения в плане достижимого уровня микроускорений в зоне размещения технологического оборудования [1, 2]. Например, отечественные КА серий «ФОТОН-М» и «БИОН-М», предназначенные для реализации технологических и биомедицинских исследований соответственно, не имеют на сегодняшний день мировых аналогов. Однако в эксплуатационно-технических характеристиках этих КА указано, что уровень микроускорений составляет до  $1 \text{ мкм/с}^2$  [3, 4]. Некоторые из уже разработанных технологий требуют для своей успешной реализации величин на порядок более низких [1, 5, 6].

В работе [4] рассмотрен вопрос о существенном изменении структуры поля микроускорений при эксплуатации КА на эллиптической орбите. Пассивный контроль на стадии эксплуатации также не способен изменить ситуацию к лучшему. Необходим активный контроль уровня микроускорений на стадии эксплуатации КА. Одним из принципов такого контроля может стать периодическое изменение тензора инерции КА во время орбитального полёта: при проведении технологических процессов компоненты тензора инерции будут иметь максимальное значение, а при проведении активной ориентации – минимальные. Это обеспечит уменьшение уровня микроускорений, особенно конструктивной составляющей, связанной, например, с колебаниями больших упругих элементов, с одной стороны, и минимизирует снижение управляемости КА при проведении активной ориентации, с другой стороны.

С точки зрения реализации гравитационно-чувствительных процессов управление орбитальной ориентацией КА можно осуществлять тремя способами [7, 8]: с помощью управляющих ракетных двигателей (УРД); устройствами активно-пассивной ориентации (УАПО) с использованием УРД для разгрузки кинетического момента УАПО; комплексом управляющих двигателей-маховиков (КУДМ) с использованием УРД для разовой ориентации и при нештатных ситуациях.

В работе было проведено математическое моделирование уровня микроускорений и анализ снижения управляемости для трех вышеперечисленных способов ориентации КА, а также получена зависимость необходимой дополнительной массы топлива от значения предельной угловой скорости вращения КА.

Таким образом, по результатам проведённых исследований были сделаны следующие выводы:

1. В случае управления ориентацией КА с помощью УРД снижения управляемости можно добиться периодическим изменением величин компонентов тензора инерции: увеличением на время проведения гравитационно-чувствительных процессов и уменьшением на время включения УРД.

2. В случае управления ориентацией КА с помощью УАПО с использованием УРД для разгрузки кинетического момента УАПО для КА среднего класса увеличение компонентов тензора инерции на 10 % на время проведения гравитационно-чувствительных процессов снижает управляемость КА на 5-6% для предельной угловой скорости до 50 рад/с. Снижение управляемости в таком случае будет выражаться в более быстром насыщении маховика УАПО. При этом необходимо увеличение запасов топлива и сокращение времени реализации одного гравитационно-чувствительного процесса. Для МКА увеличение компонентов тензора инерции на 10 % снижает управляемость лишь до предельных угловых скоростей 40 рад/с, а свыше 50 рад/с управляемость, наоборот, возрастает. Это позволяет экономить топливо на разгрузку маховика и увеличивать продолжительность гравитационно-чувствительных процессов.

3. В случае управления ориентацией КА с помощью КУДМ с использованием УРД для разовой ориентации и при нештатных ситуациях наблюдается картина, аналогичная второму случаю. Однако в этой ситуации снижение управляемости выражается в необходимости увеличения массы маховика КУДМ для выполнения задачи ориентации КА только с помощью КУДМ на всём сроке активного существования КА.

#### Библиографический список

1. Sedelnikov, A.V. Classification of microaccelerations according to methods of their control / A.V. Sedelnikov // *Microgravity Science and Technology*. – 2015. – vol. 27. – № 3. – P. 245–251.
2. A.I. Belousov, A.V. Sedelnikov, Problems in formation and control of a required microacceleration level at spacecraft design, tests, and operation, *Russian Aeronautics*, 57 (2) (2014) 111–117.
3. A.N. Kirilin, R.N. Akhmetov, G.P. Anshakov, A.D. Storozh, N.R., Stratilatov, A New Step Towards Unique Technologies In Space: The Foton-M4 Spacecraft, *Flight*, (2) (2015) 3–9.
4. Sedelnikov, A.V. How to estimate microaccelerations for spacecraft with elliptical orbit / A.V. Sedelnikov, K.I. Potienko // *Microgravity Science and Technology*. – 2016. – Vol. 28. – № 1. – P. 41 – 48.
5. A.I. Belousov, A.V. Sedelnikov, Problems in formation and control of a required microacceleration level at spacecraft design, tests, and operation, *Russian Aeronautics*, 57 (2) (2014) 111–117.
6. Melnikov, D.E., Shevtsova, V., Yano, T., Nishino, K. Modeling of the experiments on the Marangoni convection in liquid bridges in weightlessness for a wide range of aspect ratios, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 87 (2015) 119–127.
7. Алексеев, К.Б. Управление космическими летательными аппаратами / К.Б. Алексеев, Г.Г. Бебенин. – М.: Машиностроение, 1974. – 340 с.
8. Sedelnikov, A.V. The Techniques to Control a Space Laboratory Orbital Motion During Conducting of Gravity-sensitive Processes on Its Board, *American Journal of Aerospace Engineering*. – 2015. – №3 (1-1). – P. 6–9.